昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, August 2005, 48(4):491－497 ISSN 0454-6296

转基因棉花中糖类和游离氨基酸含量的变化对棉蚜泌蜜量及蜜露主要成分的影响

杨益众,陆宴辉,薛文杰,余月书,李晓慧,王 峰,杨海燕,刘 洋

(扬州大学农学院植物保护系,江苏扬州 225009)

摘要:以 3 个转基因棉和 2 个亲本对照棉花品种为研究材料,分别测定了这 5 种棉花植株体内主要糖分与游离氨基酸含量;同时,分别用这 5 个棉花品种的叶片饲养棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 并测定其蜜露分泌量及其主要营养成分。结果表明,转基因棉花‘国抗 22’叶片中葡萄糖、蔗糖、麦芽糖的平均含量及可溶性糖总量分别比亲本对照棉‘泗棉 3 号’减少 61.76%、89.05%、77.86%和 23.61%,转基因棉花‘苏抗 103’和‘中抗 310’叶片中葡萄糖、蔗糖、麦芽糖的平均含量及可溶性糖总量分别比亲本对照棉‘苏棉 12’下降 14.15%、32.80%、92.22%、11.46% 和 4 6.81%、93.19%、61.11%、43.91%,游离氨基酸总量及各种氨基酸、果糖、鼠李糖、海藻糖的含量在不同转基因棉与亲本对照棉花品种间也存在很大差异,其中一些处理间的差异达显著或极显著水平。这表明外源基因的导入已经影响到了转基因棉花品种中主要糖分与游离氨基酸的合成。棉蚜取食转基因棉花品种“国抗 22’后,蜜露的日平均分泌量比取食对照品种‘泗棉 3 号’减少 40.54%,取食其他两个转基因棉花品种‘苏抗 103’和‘中抗 310’后蜜露的分泌量也比取食对照棉花品种‘苏棉 12’降低 22.67%和 30.0%,但棉蚜取食转基因棉花后蜜露中游离氨基酸的总量均高于对照棉花品种,蜜露中可溶性总糖、蔗糖和各种氨基酸含量在取食转基因棉和常规棉花品种间存在一定差异。

关键词:棉蚜;转基因棉;糖;游离氨基酸;蜜露

中图分类号:Q965 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2005)04-0491-07

Effects of change in the content of sugars and free amino acids in transgenic cotton cultivars on the secretion amount and major nutritive components of honeydew of *Aphis gossypii* Glover

YANG Yi-Zhong, LU Yan-Hui, XUE Wen-Jie, YU Yue-Shu, LI Xiao-Hui, WANG Feng, YANG Hai-Yan, LIU Yang

(Department of Plant Protection, Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Based on three transgenic cotton cultivars“GK22”,“SK103”and“ZK310”and two non-transgenic, conventional cotton cultivars“SM3”and“SM12”as experimental materials, we analyzed the content of sugars and free amino acids in these five cotton cultivars, and the secretion amount and the content of sugars and free amino acids of honeydew from *Aphis gossypii* Glover feeding on these five cotton varieties. The results showed the mean content of glucose, sucrose, maltose and all the soluble sugars decreased 61.76%, 89.05%, 77.86% and 23.61%, respectively in the transgenic cotton cultivar“GK22”contrasted to the conventional cotton cultivars“SM3”, and decreased 14.15%, 32.80%, 92.22%, 11.46% and 46.81%, 93.19%, 61.11%, 43.91%, respectively in the transgenic cotton cultivars“SK103”,“ZK310”contrasted to the conventional cotton cultivar“SM12”. There were also some differences between the mean content of each amino acid, fructose, rhamnose, trehalose and all the free amino acids in transgenic cottons and non-transgenic cottons, with some differences significant at 0.05 or 0.01 level. The results indicated non-organic insertion genes in the transgenic cottons had some influence on the synthesis of these sugars and free amino acids. The results also showed the mean amount of honeydew secreted by *A. gossypii* feeding on transgenic cotton variety“GK22”reduced by 40.54% contrasted to the non-transgenic cotton varieties“SM3”, and reduced by 22.67%, 30.0% respectively feeding on“SK103”,“ZK310”contrasted to“SM12”, but the mean amount of all amino acids of honeydew from *A. gossypii* feeding on transgenic cottons was larger than that from the conventional cotton cultivars. And the mean

---

基金项目:江苏省“十五”攻关项目(BE2001342)

作者简介:杨益众,男,1960 年 7 月生,博士,教授,研究方向为昆虫生态学与害虫综合治理,E-mail:yzyyz@yzcn.net

收稿日期 Received:2004-09-07;**接受日期** Accepted:2004-12-28

amount of soluble sugar, sucrose and every amino acid of honeydew from *A. gossypii* were different between transgenic and non-transgenic cotton cultivars.

Key words: *Aphis gossypii*; transgenic cotton; sugar; free amino acid; honeydew

近年来,转基因棉花的大面积种植对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*(Hübner)等一些鳞翅目害虫起到了很好的控制作用(方宣钧和贾士荣,1999),但转基因棉棉田中棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、烟粉虱 *Bemisia tabaci*(Gennadius)等一些非靶标害虫的种群数量开始呈现上升趋势(孙长贵等,2002;邓曙东等,2003)。早期的研究发现,在进化过程中,棉花已形成了一套有利于自身发育的基因系统,当人为导入外源基因后,必将打破其自身固有的连锁群,从而会对棉花本身各种性状和生理代谢产生意想不到的影响,并可能会进一步影响植物与有害生物之间的关系(丰嵘等,1996)。因此,分析和比较转基因棉与亲本对照棉花品种之间营养物质含量的差异,对认识杀虫基因导入棉花后棉田生态系统将会产生哪些后效应具有一定的警示作用。

蜜露是棉蚜代谢的最终产物,分泌量大,棉蚜成若虫阶段取食营养总量的70%之多要以蜜露形式排出,其一生的泌蜜量达2 220 μg(张克斌等,1985)。这些蜜露会严重影响棉花正常的光合呼吸作用、污染棉花纤维及诱发霉菌寄生,是棉花生产上的一大障碍。另据研究,棉蚜蜜露的分泌具有明显的昼夜节律和发育阶段的差异,而且受气候、寄主营养等一些外界因子的影响(张克斌等,1982;孟玲等,1991;孟玲和王文全,1996;孟玲和李保平,1998)。这表明棉蚜蜜露的分泌具有重要的生态学和生理学意义。因此,通过分析棉蚜取食转基因棉花后的泌蜜量及其营养成分的变化,以此探讨转基因棉花中营养物质含量的变化对棉蚜正常生理活动的影响,将有助于从寄主植物营养的角度阐述转基因棉田非靶标害虫棉蚜种群数量波动的原因,为转基因棉的风险评估提供重要信息,同时也为制订转基因棉田害虫综合治理策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 棉花品种

供试棉花品种5个:“国抗22”(GK22)为单价转Bt基因棉,其亲本对照棉为‘泗棉3号”(SM3);单价转Bt基因棉‘苏抗103”(SK103)和转双价Bt+CpTI基因棉‘中抗310”(ZK310)的亲本对照棉均为‘苏棉12”(SM12)。5个棉花品种同时播种移栽,管理措施一致。

1.2 棉花叶片内营养物质含量的测定

1.2.1 糖类化合物:于棉花苗期分别采摘上述5种棉花植株顶部完全展开的嫩叶,液氮快速冷冻,并在冷冻干燥机上(-80℃)冻干粉碎,过100目筛后制成冻干粉,-20℃冰箱中保存备用。

准确称取样品冻干粉0.5 g,加10 mL 82%乙醇在70℃下保温30 min后,600×g下离心15 min,析出上清液。残渣中再加82%乙醇5 mL,70℃下保温5 min,离心后取上清液,如此重复3次,合并上清液,用 N_2 定容至3 mL。

应用高效液相色谱(HPLC)法测定棉株体内糖分含量。色谱仪由美国Waters公司生产,515泵;检测仪为示差折射检测仪;色谱柱为 NH_2 柱;流动相为乙腈/水(80/20,V/V);流速3 mL/min;柱温40℃。葡萄糖标样购自上海精化科技研究所,果糖和麦芽糖标样购自北京盖利精细化学品有限公司,蔗糖标样购自上海华东师范大学化工厂,鼠李糖标样购自中国医药集团上海化学试剂公司、海藻糖标样购自上海恒信化学试剂有限公司,流动相试剂均购自美国Fluka公司。

1.2.2 游离氨基酸:参照刘井兰(2001)方法并稍作改进。在棉花苗期,分别剪取5个棉花品种顶部完全展开的新鲜叶片2 g(剔除叶脉),洗净、剪碎,放入玻璃匀浆器中,加2%磺基水杨酸缓冲液匀浆,匀浆液用2%磺基水杨酸定容至50 mL,取10 mL在6 700×g下离心10 min,取上清液在835-50型氨基酸分析仪上测定。

1.3 棉蚜蜜露日分泌量的测定

将水与琼脂按100:1(W/W)制成培养基,倒入一次性的塑料杯(市售)中,每杯15 mL,待其凝固后,将处于棉花苗期的5种棉花顶部的嫩叶分别剪成直径为3 cm的圆片贴于培养基表面,再将从田间各品种棉株上采回的低龄棉蚜若蚜饲养至4龄时分别接在相同品种的棉叶圆片上,每杯5头。根据棉蚜的排蜜行为(赵惠燕,1997),将塑料杯倒置在保鲜膜上,这样棉蚜分泌的蜜露即掉落在膜上。饲养24 h后用已称重的滤纸条从保鲜膜上吸取所聚集的蜜露,在电子天平(精确至0.0001 g)上称重。实验

在 25 ± 1℃和自然光照条件下进行。每个棉花品种重复处理 40 杯，总计 200 头若蚜。

1.4　棉蚜蜜露中主要成分的检测

棉蚜蜜露的收集参照杨益众等（1992）方法并略有改进：将 Parafilm 膜称重后置于直径 9 cm 的培养皿里面，从田间移回叶片上集有大量蚜虫的棉花植株，弯下有蚜棉叶横跨在有 Parafilm 膜的培养皿口上，并使叶背朝下，叶面用胶带纸封好，盖上皿盖，用胶带纸封好培养皿缝隙（将叶柄留在培养皿外），让蚜虫在棉叶背面自由取食，分泌的蜜露就落在 Parafilm 膜上，24 h 后剔除蜕皮，将 Parafilm 膜取回称重，并分别用 70% 的乙醇溶液和 4% 的磺基水杨酸溶解洗脱。收集的蜜露相应地用于糖和氨基酸含量的测定。

可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法（蔡武城和袁厚积，1982）；蔗糖含量测定用 Roe 比色法（蔡武城和袁厚积，1982）；游离氨基酸的测定在 835-50 型氨基酸分析仪上进行（傅强等，2001）。

以上营养物质与泌蜜量及其主要成分的测定均重复 3 次。

1.5　统计分析

参照莫惠栋（1992）方法，用 EXCEL 程序进行数据整理和分析。

2　结果与分析

2.1　转基因棉花叶片中营养物质含量的变化

2.1.1　糖类化合物：本研究所用的 HPLC 条件对所检测的 6 种糖类化合物有很好的分离效果（图 1）。测定结果表明，3 个转基因棉花品种中糖类化合物的平均总量均低于对照亲本棉，其中“苏棉 12”和“中抗 310”之间差异显著；6 种糖类化合物中，转基因棉株体内葡萄糖、蔗糖、麦芽糖等 3 种糖类化合物的平均含量均低于亲本对照棉，而果糖、海藻糖和鼠李糖的平均含量因棉花品种不同表现不一致性。经统计分析，一些组别之间糖类化合物含量存在显著或极显著差异（表 1）。

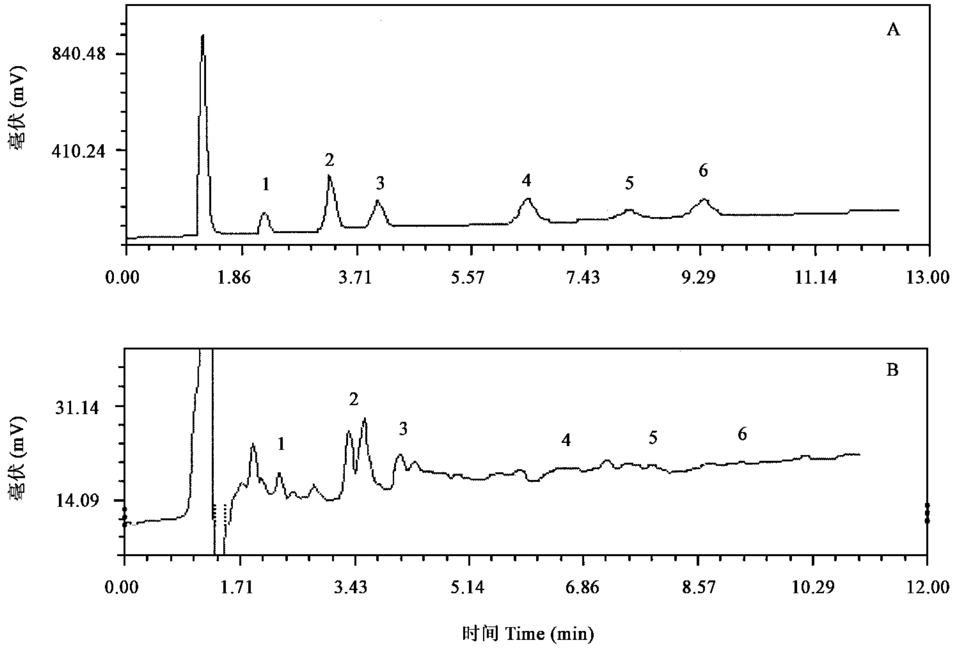

图 1　棉花叶片中糖类的高效液相色谱（HPLC）图谱

Fig. 1　HPLC spectrogram of soluble sugars in cotton leaves

A：标样图谱 Spectrogram of standard sample；B：“泗棉 3 号”棉叶样品图谱 Spectrogram of sample of cotton leaves for “SM3”.

1. 鼠李糖 Rhamnose；2. 果糖 Fructose；3. 葡萄糖 Glucose；4. 蔗糖 Sucrose；5. 麦芽糖 Maltose；6. 海藻糖 Trehalose.

2.1.2　游离氨基酸：游离氨基酸的定量分析结果表明，常规品种棉“泗棉 3 号”中的游离氨基酸总量低于转 Bt 基因棉“国抗 22”中的含量，差异显著；常规棉“苏棉 12”中的含量则略高于两个转基因棉“苏抗 103”和“中抗 310”，差异不显著。除色氨酸等个别氨基酸未被检出外，其他多数氨基酸在供试的 5 个棉花品种中均检测到，但是其种类与含量在转基因棉和常规对照棉之间存在很大差异，有的差异已达到了显著或极显著水平（表 2）。

表 1　不同棉花品种内糖类化合物的含量(mg/100mg)

Table 1　Contents of soluble sugars in different cottons (mg/100mg)

糖类化合物 Soluble sugars	泗棉 3 号 SM3	国抗 22 GK22	苏棉 12 SM12	苏抗 103 SK103	中抗 310 ZK310
鼠李糖 Rhamnose	0.5697 ± 0.1273	0.9937 ± 0.2235*	0.8662 ± 0.3753	0.8427 ± 0.2389	0.4451 ± 0.1095
果糖 Fructose	2.1795 ± 0.5401	2.7542 ± 0.7000	1.5124 ± 0.4653	1.5746 ± 0.6386	1.0905 ± 0.3971
葡萄糖 Glucose	3.9496 ± 1.1828	1.5124 ± 0.4300*	2.8013 ± 0.5988	2.4050 ± 0.3447	1.4900 ± 0.2353*
蔗糖 Sucrose	0.1279 ± 0.0449	0.0140 ± 0.0101*	0.1366 ± 0.0360	0.0918 ± 0.0357	0.0093 ± 0.0039**
麦芽糖 Maltose	0.2055 ± 0.0256	0.0455 ± 0.0156**	0.2134 ± 0.0449	0.0166 ± 0.0074**	0.0830 ± 0.0326*
海藻糖 Trehalose	0.0124 ± 0.0038	0.0619 ± 0.0270*	0.0471 ± 0.0217	0.0074 ± 0.0034*	0.0103 ± 0.0048*
总量 Total	7.0446 ± 1.0164	5.3817 ± 0.8929	5.5770 ± 1.1695	4.9381 ± 2.4034	3.1282 ± 0.9645*

表中数据为平均值 ± 标准误，* 表示在 0.05 水平上显著，** 表示在 0.01 水平上显著，下同。

The data in the table are mean ± *SE*；* Significant difference at 0.05 level，** Significant difference at 0.01 level. The same below.

表 2　不同棉花品种间各种游离氨基酸的含量(mg/100mg)

Table 2　Contents of free amino acids among different cottons (mg/100mg)

氨基酸 Amino acid	泗棉 3 号 SM3	国抗 22 GK22	苏棉 12 SM12	苏抗 103 SK103	中抗 310 ZK310
天门冬氨酸 Asp	0.0392 ± 0.0121	0.1075 ± 0.0408*	0.0917 ± 0.0539	0.0817 ± 0.0343	0.1084 ± 0.0250
苏氨酸 Thr	0.0240 ± 0.0046	0.1105 ± 0.0198**	0.1002 ± 0.0103	0.0827 ± 0.0351	0.1063 ± 0.0470
丝氨酸 Ser	0.0531 ± 0.0251	0.0994 ± 0.0292	0.0961 ± 0.0326	0.0819 ± 0.0202	0.0944 ± 0.0400
谷氨酸 Glu	0.1301 ± 0.0433	0.2038 ± 0.0810	0.1875 ± 0.0571	0.1717 ± 0.0759	0.2474 ± 0.0382
脯氨酸 Pro	–	0.0387 ± 0.0101	–	0.0336 ± 0.0139	–
甘氨酸 Gly	0.0088 ± 0.0033	–	0.0204 ± 0.0104	0.0167 ± 0.0073	0.0172 ± 0.0062
丙氨酸 Ala	0.1059 ± 0.0327	0.2104 ± 0.0500	0.1155 ± 0.0413	0.1454 ± 0.0320	0.1428 ± 0.0198
胱氨酸 Cys	0.0106 ± 0.0039	0.0106 ± 0.0025	0.0100 ± 0.0026	0.0116 ± 0.0039	0.0176 ± 0.0023*
缬氨酸 Val	0.0179 ± 0.0045	0.0212 ± 0.0035	0.0171 ± 0.0060	0.0210 ± 0.0026	0.0162 ± 0.0028
蛋氨酸 Met	0.0083 ± 0.0032	0.0051 ± 0.0024	0.0056 ± 0.0018	0.0091 ± 0.0040	0.0055 ± 0.0029
异亮氨酸 Ile	–	0.0071 ± 0.0026	0.0141 ± 0.0066	–	–
亮氨酸 Leu	0.0056 ± 0.0025	–	–	0.0043 ± 0.0019	0.0036 ± 0.0016
酪氨酸 Tyr	0.0144 ± 0.0059	0.0144 ± 0.0026	–	–	0.0098 ± 0.0041
苯丙氨酸 Phe	0.0328 ± 0.0170	0.0774 ± 0.0089*	0.0253 ± 0.0069	0.0351 ± 0.0089	0.0322 ± 0.0010
赖氨酸 Lys	0.0341 ± 0.0163	–	–	–	–
组氨酸 His	–	0.0096 ± 0.0033	0.0166 ± 0.0039	–	–
精氨酸 Arg	–	0.1027 ± 0.0494	0.1255 ± 0.0310	0.0144 ± 0.0020**	0.0224 ± 0.0095**
色氨酸 Trp	–	–	–	–	–
总量 Total	0.4848 ± 0.1429	1.0183 ± 0.2374*	0.8256 ± 0.1183	0.7092 ± 0.3229	0.8237 ± 0.2840

2.2　转基因棉对棉蚜蜜露日分泌量的影响

转基因棉对棉蚜蜜露日分泌量的影响见表 3。通过比较,发现取食常规棉花品种“泗棉 3 号”上棉蚜 4 龄若蚜的日平均分泌量为 0.432 mg,极显著高于转 Bt 基因棉“国抗 22”;常规棉“苏棉 12”上棉蚜的日平均分泌量为 0.300 mg,也都高于转 Bt 基因棉“苏抗 103”和转 Bt + CpTI 基因棉“中抗 310”,只是差异不显著(表 3)。

2.3　转基因棉对棉蚜蜜露中主要成分的影响

2.3.1　对可溶性总糖含量的影响:测试结果表明,取食亲本对照棉“泗棉 3 号”后,每 100 mg 棉蚜蜜露中的可溶性总糖含量显著高于取食“国抗 22”上棉蚜蜜露中的含量;取食“苏棉 12”棉花后蜜露中可溶性总糖含量均低于转基因棉“苏抗 103”和“中抗 310”,但差异并不显著(表 4)。

表 3　不同棉花品种上棉蚜 4 龄若蚜的蜜露日分泌量(mg/d)

Table 3　Amount of honeydew secreted by the 4th nymphs instars of *Aphis gossypii* feeding on different cottons (mg/d)

棉花品种 Cotton varieties	日平均分泌量 Average amount of honeydew secretion daily	显著水平(*P*) Level of difference
泗棉 3 号 SM3	0.432 ± 0.113	< 0.001**
国抗 22 GK22	0.256 ± 0.051	
苏棉 12 SM12	0.300 ± 0.105	0.099
苏抗 103 SK103	0.232 ± 0.065	
苏棉 12 SM12	0.300 ± 0.105	0.047*
中抗 310 ZK310	0.210 ± 0.060	

2.3.2　对蔗糖含量的影响:棉蚜取食常规品种棉“泗棉 3 号”后,每 100 mg 棉蚜蜜露中含蔗糖量略高于取食转基因棉“国抗 22”棉蚜蜜露中的蔗糖含量;而取食对照棉“苏棉 12”后,其蔗糖的含量显著低于取食转基因棉“苏抗 103”和“中抗 310”两个品种后蜜露中的蔗糖含量(表 4)。这与对可溶性总糖含量的影响结果趋于一致。

表4　不同棉花品种上棉蚜蜜露中的可溶性糖和蔗糖含量（mg/100mg）

Table 4　Contents of all soluble sugars and sucrose in honeydew of *Aphis gossypii* feeding on different cottons（mg/100mg）

棉花品种 Cotton varieties	可溶性总糖 All soluble sugars		蔗糖 Sucrose	
	含量 Content	显著水平（P） Level of difference	含量 Content	显著水平（P） Level of difference
泗棉3号 SM3	30.913 ± 3.315	0.044*	9.211 ± 2.673	0.877
国抗22 GK22	18.331 ± 2.986		8.948 ± 0.707	
苏棉12 SM12	24.642 ± 3.315	0.126	6.414 ± 1.148	0.030*
苏抗103 SK103	30.293 ± 3.985		11.333 ± 2.313	
苏棉12 SM12	24.642 ± 3.315	0.080	6.4141 ± 1.148	0.058
中抗310 ZK310	31.643 ± 2.142		13.025 ± 4.120	

2.3.3　对游离氨基酸含量的影响：从表5可见，取食3个转基因棉花后，棉蚜蜜露中游离氨基酸的总量均明显高于取食2个对照棉花品种。这一结果与转基因棉‘国抗22’棉花植株体内游离氨基酸总量高于对照棉花品种‘泗棉3号’一致，但与其他3个棉花品种体内游离氨基酸含量则相反。然而，与5个棉花品种一样，取食所有棉花品种的棉蚜蜜露样品中也未检测到色氨酸。其他氨基酸基本都被检测到，但其种类与含量在不同的转基因棉和常规对照棉之间存在一定差异（表5）。

表5　不同棉花品种上棉蚜蜜露中的游离氨基酸含量（mg/100mg）

Table 5　Content of free amino acids in honeydew of *Aphis gossypii* feeding on different cottons（mg/100mg）

氨基酸 Amino acid	泗棉3号 SM3	国抗22 GK22	苏棉12 SM12	苏抗103 SK103	中抗310 ZK310
天门冬氨酸 Asp	0.0331 ± 0.0088	0.0317 ± 0.0140	0.0429 ± 0.01697	0.0577 ± 0.0123	0.0786 ± 0.0318
苏氨酸 Thr	0.0247 ± 0.0111	0.1326 ± 0.0424*	–	0.0183 ± 0.0060	0.0195 ± 0.0032
丝氨酸 Ser	0.0363 ± 0.0170	0.0413 ± 0.0183	0.0579 ± 0.0260	0.1369 ± 0.0239*	0.1376 ± 0.0306*
谷氨酸 Glu	0.0876 ± 0.0324	0.0378 ± 0.0160	0.0045 ± 0.0008	0.0188 ± 0.0059*	0.0173 ± 0.0054*
脯氨酸 Pro	0.0189 ± 0.0039	0.0698 ± 0.0136**	0.1096 ± 0.0242	0.1846 ± 0.0067	0.0410 ± 0.0089**
甘氨酸 Gly	0.0109 ± 0.0042	0.0082 ± 0.0034	0.0036 ± 0.0008	0.0134 ± 0.0015**	0.0127 ± 0.0026**
丙氨酸 Ala	0.0090 ± 0.0036	0.0068 ± 0.0016	–	0.0124 ± 0.0047	0.0146 ± 0.0041
胱氨酸 Cys	0.0125 ± 0.0039	0.0055 ± 0.0021	–	–	0.0206 ± 0.0102
缬氨酸 Val	0.0494 ± 0.0223	0.0720 ± 0.0201	0.0502 ± 0.0106	0.0547 ± 0.0148	0.0836 ± 0.0087*
蛋氨酸 Met	0.0024 ± 0.0010	0.0133 ± 0.0031**	0.0089 ± 0.0021	0.0368 ± 0.0094**	0.0445 ± 0.0018*
异亮氨酸 Ile	0.0437 ± 0.0164	0.0749 ± 0.0252	0.0732 ± 0.0249	0.0470 ± 0.0186	0.0847 ± 0.0306
亮氨酸 Leu	0.0152 ± 0.0071	0.0087 ± 0.0027	0.0214 ± 0.0102	0.0183 ± 0.0026	–
酪氨酸 Tyr	–	–	–	0.0153 ± 0.0007	–
苯丙氨酸 Phe	0.0478 ± 0.0150	0.0412 ± 0.0104	0.0677 ± 0.0123	0.0119 ± 0.0040**	0.0109 ± 0.0023**
赖氨酸 Lys	0.0074 ± 0.0035	0.0077 ± 0.0016	0.0150 ± 0.0052	0.0106 ± 0.0034	0.0193 ± 0.0059
组氨酸 His	0.0205 ± 0.0052	0.0249 ± 0.0093	0.0069 ± 0.0025	0.0085 ± 0.0034	0.0162 ± 0.0044*
精氨酸 Arg	–	–	0.0132 ± 0.0055	0.0218 ± 0.0056	0.0091 ± 0.0020
色氨酸 Trp	–	–	–	–	–
总量 Total	0.4193 ± 0.0716	0.7916 ± 0.1406*	0.4748 ± 0.1273	0.6669 ± 0.2089	0.6102 ± 0.2016

3　讨论

研究结果表明，转基因棉花叶片中葡萄糖、蔗糖、麦芽糖含量以及可溶性糖总量均低于相应的亲本对照棉，各种氨基酸、果糖、鼠李糖、海藻糖的平均含量以及游离氨基酸平均总量在不同类型的棉花品种间表现得也很不一致。一些糖分与氨基酸含量在不同棉花品种间的差异达到了显著或极显著水平。这些结果表明外源基因的导入已明显影响到棉株体内营养物质的合成。一些学者曾发现转基因棉花中缩合单宁含量与亲本对照棉存在很大差异（武予清等，2000）。本研究结果与前人的结论有相同之处。但由于转基因棉花品种的多样性以及外源基因导入的方式不同，对转基因棉花体内营养物质及其他物质的测定还有待于进一步进行。

苯丙氨酸氨解酶（PAL）是促进苯丙烷类似物合成的重要催化剂，根据PAL克隆的*pal*2基因插入到烟草植株体内后，获得的转基因烟草明显降低了烟芽夜蛾 *Heliothis virescens* 和烟草天蛾 *Manduca sexta*

两种害虫幼虫的体重且提高了他们的死亡率，但对一些真菌病害更敏感以及易被烟草花叶病毒侵染；同样，从细菌 *Pseudomonas putida* 中克隆的 *nabG* 基因插入到烟草中后，显著提高了对烟芽夜蛾的抗性，而对病毒、真菌和细菌病害更敏感。研究者们认为，一些植物被插入外来基因后，不但会影响植株体内原有的生理活动与代谢，甚至在某些抗性作用方面不是得到增强，就是变得削弱，以便维持植株体内的平衡(poise)(John，1999)。因此，深入研究杀虫基因导入棉花后给棉株带来的各种生理效应，将有利于防范转基因棉田非靶标有害生物的暴发。

棉蚜是长江淮河流域棉区棉花上重要的刺吸类害虫。棉花组织中的糖分、氨基酸是棉蚜主要的营养物质，同时这些物质与棉花的抗蚜性又密切相关(陆宴辉等，2004)。因此，转基因棉花植株体内糖类、氨基酸含量的变化将直接影响到棉蚜的生长发育。本研究发现棉花中含有丰富的糖和氨基酸，然而由于外源杀虫基因的导入，转基因棉花植株体内的糖分、氨基酸含量与对照亲本棉相比已发生了很大变化，而且这样的变化已产生了连锁反应。研究表明，与常规棉花品种相比，取食转基因棉花后棉蚜蜜露的日平均分泌量减少，蜜露中的糖分和游离氨基酸含量也发生了明显变化。杨益众等通过组建转基因棉和亲本对照棉田棉蚜的实验种群生命表，发现转基因棉对棉蚜发育速率、死亡率、繁殖力以及生命表参数均有一定影响(另文发表)。周福才(2004)研究发现转基因棉对烟粉虱的生长发育及繁殖也有很强的效应。因此，棉蚜和烟粉虱种群动态的变化与转基因棉花植株体内营养物质的改变是否相关值得深入探讨。

本文作者所测得的棉蚜蜜露中可溶性糖、游离氨基酸组成与含量与相应棉花植株体内糖分、氨基酸组成与含量之间存在不一致性。这可能是由于外源基因的导入影响了棉花叶片中营养物质组成与含量的变化或者是各营养物质之间的平衡被打破，从而对棉蚜的生理代谢以及对一些营养物质的消化利用产生了影响。同时，本研究运用 HPLC 法能检测到棉株体内多种糖分的含量，而且分离效果很好。这比蒽酮比色法等常规分析法有了明显改进。当然，如果用同样的方法分析棉蚜蜜露中各种糖分的含量也许更能说明问题。因此，关于转基因棉对棉蚜营养生理的效应研究还有待于深入。

蜜露是蚜蚁共栖的主要中介物质，同时蜜露也是许多姬蜂、茧蜂、瓢虫、小花蝽和食蚜蝇等天敌昆虫的补充营养(张广学和钟铁森，1983)，而且一些天敌还利用蜜露作为接触性利他素搜寻寄主(Carter and Dixon，1984；Budenberg，1990)。取食转基因棉花后棉蚜蜜露的分泌量及其主要成分发生变化后，是否会引起棉田生态系统中棉蚜-天敌关系及其他害虫-天敌之间的相互关系并产生连锁反应有待于进一步探讨。

在本研究的预备实验中，作者发现 1～3 龄棉蚜若蚜的泌蜜量少，成蚜的蜜露分泌也因产仔及其所产若蚜的排蜜而受到影响，所以本实验测定的是 4 龄若蚜的蜜露分泌量。至于用 4 龄若蚜的泌蜜量能否代表棉蚜一生的分泌量还需要进一步证实。但本研究结果至少能说明转基因棉花在导入杀虫基因后已对棉蚜的生理代谢产生了明显影响。

参考文献(References)

Budenberg WJ，1990. Honeydew as a contact kairomone for aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*，50(2)：139－148.

Cai WC，Yuan HJ，1982. Chemical Analysis Methods of Biomaterials. Beijing：Sciences Press. 15－16.［蔡武城，袁厚积，1982. 生物物质常用化学分析法. 北京：科学出版社. 15－16］

Carter MC，Dixon AFG，1984. Honeydew as arrestant stimulus for coccinellids. *Ecology Entomology*，9：383－387.

Deng SD，Xu J，Zhang QW，Zhou SW，Xu GJ，2003. Effect of transgenic Bt cotton on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pests. *Acta Entomologica Sinica*，46(1)：1－5.［邓曙东，徐静，张青文，周世文，徐冠军，2003. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响. 昆虫学报，46(1)：1－5］

Fang XJ，Jia SR，1999. Progress of commercialization of transgenic cotton in China. *Biotechnology Information*，2：39－42.［方宣钧，贾士荣，1999. 中国转基因抗虫棉产业化进展. 生物技术通报，2：39－42］

Feng R，Zhang BH，Guo XM，1996. Effects of exogenous Bt gene on yield properties and insect resistance of cotton. *Acta Gossypii Sinica*，8(1)：10－13.［丰嵘，张宝红，郭香墨，1996. 外源 Bt 基因对棉花产量性状的影响. 棉花学报，8(1)：10－13］

Fu Q，Zhang ZT，Hu C，Zhu ZW，Lai FX，2001. Effects of dietary amino acids on free amino acid pools in the body and honeydew of the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*. *Chinese J. Rice Sci.*，15(4)：298－302.［傅强，张志涛，胡萃，朱智伟，赖凤香，2001. 饲料氨基酸对褐飞虱及其蜜露游离氨基酸的影响. 中国水稻科学，15(4)：298－302］

John W，1999. Insect-Plant Interactions and Induced Plant Defence. New York：Novartis Foundation.

Liu JL，2001. The Two-Effects of Herbicides on both Rice and *Nilaparvata lugens* Stål. Dissertation of the Master Degree of Yangzhou University.［刘井兰，2001. 农药对水稻和褐飞虱的双向效应. 扬州大学硕士学位论文］

Lu YH，Yang YZ，Yin Y，Yu YS，2004. Advances of studies on the resistance and relevant genetic mechanism of cotton to *Aphis gossypii* Glover. *Entomological Knowledge*，41(4)：291－294.［陆宴辉，杨益众，印毅，余月书，2004. 棉花抗蚜性及抗性遗传机制研究进展. 昆虫知识，41(4)：291－294］

Meng L，Li BP，1998. Effects of cotton seedling in nutrition deficiency on the development and excretion. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*，7(4)：24－27.［孟玲，李保平，1998. 棉苗缺素对棉蚜生长发育和排蜜的影响. 西北农业学报，7(4)：24－27］

Meng L，Liu FZ，Yu JN，1991. A study on the honeydew excretion and amino acids in the honeydew by the cotton aphid. *Journal of August 1st Agriculture College*，14(3)：37－41.［孟玲，刘芳政，于江南，1991. 棉蚜的排蜜规律及蜜露中氨基酸成分的研究. 八一农学院学报，14(3)：37－41］

Meng L，Wang WQ，1996. Effect of boron and zinc on development and honeydew excretion of *Aphis gossypii* Glover. *Acta Gossypii Sinica*，8(4)：208－211.［孟玲，王文全，1996. 微量元素硼锌对棉蚜生长发育和排蜜的影响. 棉花学报，8(4)：208－211］

Mo HD，1992. Statistics for Agricultural Experiments (2nd ed.). Shanghai：Shanghai Science and Technology Press.［莫惠栋，1992. 农业试验统计(第2版). 上海：上海科学技术出版社］

Sun CG，Xu J，Zhang QW，Feng HB，Wan F，Song R，2002. Effect of transgenic Bt cotton on population of cotton pests and their natural enemies in Xinjiang. *Chinese Journal of Biological Control*，18(3)：106－110.［孙长贵，徐静，张青文，封红兵，汪飞，宋荣，2002. 新疆棉区转Bt基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群数量的影响. 中国生物防治，18(3)：106－110］

Wu YQ，Guo YY，Zeng QL，2000. Preliminary testing of contents of total phenolics and condensed tannins in the Bt cotton. *Journal of Henan Agricultural University*，34(2)：134－136.［武予清，郭予元，曾庆龄，2000. 转Bt基因棉单宁及总酚含量的初步测定. 河南农业大学学报，34(2)：134－136］

Yang YZ，Wang SX，Wang JQ，1992. Relationships between the rhythm of honeydew excretion of *Rhopalosiphum padi* and wheat varieties and its growth stage. *Entomological Knowledge*，2：73－75.［杨益众，汪世新，王进强，1992. 禾缢管蚜蜜露的分泌节律与小麦品种、生育期关系的研究. 昆虫知识，2：73－75］

Zhang GX，Zhong TS，1983. Economic Insect Fauna of China. Fasc. 25. Homoptera：Aphidinea，Part 1. Beijing：Science Press. 1－387.［张广学，钟铁森，1983. 中国经济昆虫志第二十五册同翅目：蚜虫类(Ⅰ). 北京：科学出版社. 1－387］

Zhang KB，Dong JL，Zhai YL，1985. Studies on the relationship between feeding, excretion and absorption of cotton aphids and resistance of cotton varieties to aphids using radioactive tracer ^{14}C. *Application of Atomic Energy in Agriculture*，3：37－40，53.［张克斌，董家伦，翟延路，1985. 以^{14}C标记棉花研究棉蚜取食、排泄、吸收与棉花品种抗蚜性关系. 原子能农业应用，3：37－40，53］

Zhang KB，Liu HX，Wang LL，1982. Initial report of studies on honeydew of cotton aphid. *Journal of Boreali-occidentalis Agriculturae College*，2(1)：49－59.［张克斌，刘惠霞，王玲莉，1982. 棉蚜蜜露研究初报. 西北农学院学报，2(1)：49－59］

Zhao HY，1997. Observation of honeydew excretion behavior of *Aphis gossypii*. *Entomological Knowledge*，34(1)：32.［赵惠燕，1997. 棉蚜排泄蜜露行为的观察. 昆虫知识，34(1)：32］

Zhou FC，2004. Occurring Rules and Population Control of *Bemisia tabaci* Gennadius in the Transgenic Cottons. DSc Dissertation of South China Agricultural University.［周福才，2004. 转Bt基因棉花在烟粉虱的发生规律及种群控制. 华南农业大学博士学位论文］

（责任编辑：黄玲巧）